E.T.S.A.M.

Departamento de Estructuras y Físicas

A: **Estudiantes del Taller t1 cre** 5 de octubre del 2016

Asunto: **F U E R Z A**

Los cachivaches del profesor De Miguel

Voy a tratar de darles algunas pistas o claves acerca de algo que aparecerá constantemente en la enseñanza estructural, (una asignatura, al menos, cada año, a partir de segundo), y en Física de primero (segundo semestre). Me refiero a **fuerza**

El término proviene del habla normal (*lado oscuro de la fuerza*, *que la fuerza te acompañe*). Newton la importa con sentido físico preciso, para una entelequia creación suya. No existe fuerza, sólo existen sus efectos. Es un artificio portentoso, que nos permite jugar, predecir y deducir lo que pasará. (En otro planeta, en el que no haya habido un Newton podía ser que no usaran lo de "fuerza", y que eso fuera simplemente algo "derivado" de energía).

No intento definirla (lo que permite variar el estado de movimiento de un cuerpo). Dejémoslo en que fuerza es algo que se saca el profesor del bolsillo (*tomemos una fuerza, consideremos un sistema de fuerzas*)

Puede que les omitan que sólo existen fuerzas aplicadas a puntos de cuerpos, y que, como las cerezas, cargas eléctricas, y polos magnéticos, creo, aparecen a pares. No hay una fuerza aplicada a algo sino entre dos algos.

Puede entenderse mejor con el adjetivo, **fuerte**, asimismo usado en lenguaje normal (*búscame una cuerda fuerte, Luis, sé fuerte*; *volvamos al fuerte que vienen los indios*). En esas expresiones significa que resiste.

Buscamos una cuerda fuerte para arrastrar, tirando, de un pedrusco al que la anudamos. Si no es suficientemente fuerte, al tirar de ella, en vez de mover el pedrusco, se rompe la cuerda.

Pero para tirar, hay que hacerlo con fuerza, o sea, ser fuerte. Esa es otra acepción. Que puede ejercer mucha fuerza. ¿Es usted muy fuerte? Hagamos un experimento mental. Supongamos que fijo una polea en el techo, paso una cuerda (fuerte) y ato un extremo a una piedra, y usted tira del otro extremo, ¿qué peso puede levantar, tirando con todas sus fuerzas? 20 kg (quiero decir el peso de una masa de 20 kg), 40 kg, 60 kg, Ya lo habrán pillado. No estoy hablando del peso de la piedra, sino del suyo. Nadie puede levantar más peso del que tiene. En vez de levantar el peso, trepa por la cuerda. Incluso para arrastrar el pedrusco, tirando con una cuerda, lo que cuenta es su peso (el de usted). Así que la expresión de sus abuelas "qué chico tan fuerte" significa grande, que pesa mucho. Y sólo si tiene fuerza; si no, es sólo fofo, o gordo. MV no es gordo, no tiene mucha cintura para su estatura. Su estatura es pequeña para la cintura que tiene. Es bajo. Que es un término políticamente más correcto.

En la cultura antigua, los fuertes a trabajar, los fuertes y cojos, herreros, y ¿los flojos, delgados, escuálidos, escuchimizados, alfeñiques y miñambres? Pues a estudiar. Y por eso están ustedes aquí (ustedas no. para las féminas había otra escala.

Vamos a por el sentido científico de fuerza. Por ahora sólo conocemos una, el peso.

Uno de los más grandes científicos de todos los tiempos fue **Aristóteles**, tiempo ha. (ca -350). Medalla de plata, para la que hay varios candidatos. Era listísimo. Filósofo era la manera de entonces de decir científico. Luego se separó la filosofía natural (física, biología, etc). Los doctores anglosajones son Ph.D. Lo de la lógica se lo pulió en un fin de semana, y desde entonces no ha habido quien la mejore (salvo la aportación escacharrarrante de Lewis Carrol). Como científico hoy sería catedrático de embriología de la facultad de biológicas (el delfín era mamífero). Escribió mucho y de casi todo (de 200 libros nos han llegado 30). Logró que durante siglos y siglos fuera la autoridad de referencia en muchos asuntos. Pero era de su tiempo, nada de electricidad ni mecánica cuántica, claro. Y decía que al ascender por una montaña te acercabas al Sol y hacía más calor. Mal, pero no tanto. Te pones moreno más rápido.

¿Y en fuerza? ¿En peso?

Pues observando que el corcho flota y la piedra se hunde, estableció la ley de que los cuerpos se mueven según su peso, y los más pesados caen más rápidamente, y llegan antes al suelo. Tan impresionante era su autoridad que durante siglos y siglos centenares de miles de personas, muchos de ustedes, han creído lo que dijo, en contra de lo que podía ser su experiencia. No "veían" lo que pasaba realmente.

15'

Hasta **Galileo**, asimismo candidato a medalla de plata de mejor científico de todos los tiempos. Era muy, muy listo. Lo que importa de Galileo (ca 1600) es no tanto lo que descubre o formula, sino que se enfrenta a las cosas sin prejuicio, y, sobre todo, dejando de lado los argumentos de autoridad. Las cosas son como son, independientemente de quién haya dicho qué. (Le pidieron que se retractara de lo que la Tierra se mueve, y se retractó, pero por lo bajini, manifestaba que daba igual, porque si se movía, se movía).
Dejó caer, supongo, cosas, y constató que todas llegaban al suelo al mismo tiempo. Elaboró, muy inteligentemente algunas "demostraciones" por reducción al absurdo (o citando cosas que no había hecho). Pero lo que le importaba era lo que pasaba: que todos caían igual. Se forró, ganando apuestas.

Como ya sabía que todos los cuerpos caían igual, podía meterse con averiguar cómo. En su tiempo no había cámaras fotográficas ni luz estroboscópica, así que tuvo que echarle imaginación. Supuso que la caída por un plano inclinado seguiría la misma ley. Y podía probar con varias inclinaciones. Así que se agenció con un tablón largo, le hizo una canal, lo enceró concienzudamente, y dándole poca pendiente, para que el movimiento fuera lo suficientemente lento, probó a dejar caer una pesada, pero pulida, bola de piedra. (El archiperre que les muestro es una reproducción imaginada a 1:10). Necesitó la ayuda de unos asistentes, (entonces esclavos, hoy becarios), uno para sujetar la bola, y dejarla caer, otro para cantar las gotas que salían de una vasija (*clepsidra*), y otros para marcar la posición del paso de la bola No le importaba la precisión. Buscaba una regla sencilla. Y la encontró. En tiempos iguales la bola recorría espacios como los números impares, 1, 3, 5, 7, 9... Que supongo que saben que su suma es la de cuadrados 1, 4, 9, 16, 25...
Y la caída seguía la misma ley independientemente de la pendiente. Bingo. Eso era lo que pasaría en vertical.

Pero Galileo, que era muy listo, se estaba empezando a fijar en otra cosa. Con objeto de frenar la bola, había dotado al tablón de un tramo final en contrapendiente. Y notó que la bola subía hasta el mismo nivel de donde la habían soltado. Como pasaba con los péndulos. Y que al retroceder, tendía a volver al mismo punto del que partió (siempre algo menos porque por mucho jabón que daba, siempre había algo de rozamiento), y con la misma cadencia, pero inversa, 9, 7, 5, 3, 1. Probó de muchas maneras y siempre igual. Si la pendiente de frenada era pequeña, llegaba más lejos, porque la bola intentaba llegar a la misma altura. Decidió que si la pendiente era nula, la bola no pararía nunca (y comprobó que recorría espacios iguales en tiempos iguales).
Así que concluyó que, en contra de lo que dijo Aristóteles, quince siglos antes, un cuerpo en movimiento lo mantiene uniforme hasta que algo (una fuerza) lo altere. Las cosas no se mueven cuando son movidas y se detienen cuando cesa la causa del movimiento (valía para carros con bueyes). Las cosas se mueven incesantemente, y es la variación del movimiento lo que necesita causa. ¿No les dije que Galileo era listo?

Con este bagaje pudo resolver toda la cinemática. Si tiraba un cuerpo hacia arriba reduciría su velocidad de manera inversa a la de caída, y cuando llegara a perderla todo, caería de nuevo. Si tras haberlo puesto en movimiento uniforme, la bola llegaba al borde de un cambio de nivel, tendría que hacer dos cosas al tiempo. Seguir el movimiento uniforme que tenía y caer. ¿Cómo se combinaban movimientos? Muy simple. Galileo razonó que si cada uno de los movimientos se consideraba suma de pequeños trocitos, a recorrer en esos mismos trozos de tiempo, y por decirlo así, los dos movimientos se intercalaban, la trayectoria era inmediata. Procedía de combinar los movimientos con la regla del paralelogramo. ¿Les he dicho que Galileo era ...?

¿Cómo es que nadie se había dado cuenta antes? Porque Galileo jugaba con ventaja. Había definido tiempo. Hasta entonces el tiempo era ordinal, no cardinal. Se etiquetaban instantes. No se medían intervalos. Entre la hora nona y la duodécima (ordinales) había cuatro horas, cuatro hitos. Para ustedes ahora son tres horas, tres intervalos. Jesucristo murió un viernes por la tarde y resucitó al tercer día (ordinal) el domingo, no tres días después. Como ustedes de marcha en finde. (Este documento va de la página 17 a la 20; tiene pues 4 hojas). Vean el lío en el congreso con eso de la segunda votación, no dejando pasar un día, sino 48 horas después. (Lo de decir de hoy en ocho días por una semana, o una condena de seis meses y un día, va de lo mismo). Galileo hablaba de fracciones de tiempo. No miraba el nivel del agua, contaba gotas. Era algo continuo. Hasta entonces lo de las nueve y tres cuartos era tan chocante como para ustedes es decirlo de un andén de ferrocarril.

Y si es así como se componían los movimientos, se podían descomponer. Si disparaba un proyectil oblicuamente, la componente horizontal se mantendría, y la vertical seguiría la ley esa de números impares decrecientes al subir y luego crecientes al bajar. Dibujen eso. Sale una parábola. (Pero se pueden encontrar con grabados de fuentes que dibujan los chorritos con algo que parece más bien una elipse. Otra muestra de no mirar lo que pasa). Las tablas de trayectorias balísticas de Galileo, se han estado usando en artillería casi hasta nuestros días.

Lo del paralelogramo ya había aparecido antes en otro problema. Para eso necesito otro cachivache. Jugando a equilibrar, y encontrar sus claves del equilibrio, estuvieron unos cuantos años probando con pesos, cadenas y poleas. Les muestro un caso. Aunque el peso central lo pueda cambiar de sitio con facilidad, no cambia sólo, y menos en un pis pás, como sucedería si estuviera en desequilibrio.
Para entonces ya habían deducido que la cadena vertical de cada lado tenía una tracción igual al valor del peso colgado. Y que la tracción se mantenía al otro lado de la cadena. Pero, por entonces, las dos cosas, tracción y peso, eran sólo valores. Como para ustedes la temperatura.
El punto intrigante era el central. Cada cadena tenía una tracción conocida, provocada por el peso que colgaban en cada extremo (7 y 9 unidades). Pero del punto central colgaba un peso de 10 unidades. ¿Cómo era que mantenía la tracción de 7 y 9 en los trozos que acometían a ese punto? O en otras palabas, cómo conseguía el equilibrio entre los 7 y 9 a un lado y otro, y los 10 de debajo. ¿Qué operación ligaba a esos tres valores?

Ya sabían probar a mantener un peso lateral fijo y en ese caso cuando subían el central bajaba el otro lateral. Y, desde **Arquímedes** (ley de la palanca) se sabía que en ese caso, lo que subía era igual que lo que bajaba el otro, *ponderando* cada movimiento con el peso que se movía (eso es ponderar); peso doble sube mitad. Pero aun con eso no resolvían el acertijo.
No sé a quién se le ocurrió. Puede ser que explorando con este artilugio, vieran que detrás había un paralelogramo. Si dibujas sobre cada cadena un segmento igual a su tracción, construyendo el paralelogramo, sale un punto en la vertical del nudo central, y a una distancia igual al peso colgado en ese punto. Bingo de nuevo.
A partir de ese descubrimiento, las fuerzas, como el peso, o la tracción, pasaron a ser un valor más una dirección. Pero para no pocos, el peso sigue siendo nada más que un valor.
Los profesores que se sacan las fuerzas de la manga, la pintan con una flechita de largo igual al valor, y dicen pomposamente que es un "vector". Y que como es un vector se suman como los vectores. (Hay vectores de distintos tipos y varias maneras de sumarlos). El conjunto es un círculo vicioso. No esperen que les demuestren nada de todo eso. A mí no me lo demostraron.

Galileo no logró darse cuenta de que ambos paralelogramos, el de equilibrio, y el de composición de movimientos tenían el mismo fundamento, porque las fuerzas son las que se ocupan además del movimiento. Galileo no llegó a fuerza, y no se percató de que lo de los números impares significa que el incremento es uniforme, justo lo que haría una fuerza incesante, que no era otra que el peso. Pero era demasiado para una sola persona. Galileo, además de inventar el tiempo, como variable continua, y resolver la cinemática, precisó lo que era temperatura e inventó un termómetro y, luego está lo de la astronomía. Por si fuera poco, arrancó también con la Resistencia de Materiales, sentando sus bases.
¿Les dije que ...?

Dejemos a Galileo.
Al año de fallecer, nace el que sería Isacc **Newton** (ca 1700). Ese es sin duda el número uno, el mejor científico de todos los tiempos. El medalla de oro. Decir listo es poco. El avance que dio al método científico, el cálculo, y a los propios conocimientos científicos no tiene parangón. Pero también era hombre de su tiempo. Suponía, como se creía por entonces, que el universo tenía unos como unos 5000 años, aunque él opinaba que más bien 6000.
Si a Newton le decías una tarde, tomando el té, que habías visto un arco iris y si sabía por qué era así, se pondría a la faena y al día siguiente de diría que "*se forma cuando las gotitas de agua son finas y esféricas, y que es un círculo con ángulo 42º desde el observador,* (si no lo coges entero con tu cámara, es inútil que retrocedas: seguirá sin caber),.*con centro en la línea del sol con el ojo* (con cada uno vemos uno distinto), *con los colores en cierto orden, y que si las condiciones eran favorables se podía ver otro más tenue con los colores en orden inverso, con ángulo de 56º"; que no era una cosa, ni una imagen, sino algo virtual* (de la App de ver) Aunque parte de esto ya se sabía, Newton era capaz de descubrirlo y demostrarlo de un día para otro arrancando de cero. Ese era Newton. Uno de los libros, el Principia Matemática, (en latín, que era como se escribía por entonces la ciencia), es, probablemente el libro científico más impresionante jamás escrito. ¿Lo han visto?

Tomaré lo que para mí es el problema resuelto de manera más portentosa, porque llega a mucho con apenas nada. Y se relaciona con lo que estamos tratando. Es asombroso.
Newton plantea el caso teórico, de un cuerpo **M** que está moviéndose, según Galileo, si no hay perturbaciones, de manera uniforme, o sea, recorriendo espacios iguales en tiempos iguales sobre una recta. Así que en instantes separados por el mismo intervalo, estaría en los puntos, **0**, **1**, **2**, **3** etc. Tomaremos eso como pauta de tiempos, refiriendo todo a cambios con esa cadencia temporal uniforme.
Supongamos que a partir de **2**, actúa sobre el cuerpo **M** una fuerza en la dirección de un punto **S**. Sin pérdida de generalidad, se puede suponer que esa fuerza actúa como por empellones, a intervalos, y por comodidad, con la cadencia tomada como pauta. Cuando el cuerpo **M** pasa por **2** rumbo a **3**, se produce un empellón. Para saber su efecto, bastará dibujar lo que esa fuerza produciría. En términos de movimiento, un segmento de **2** a **S** de cierta longitud (que ahora no importa). La combinación de los dos movimientos, según Galileo, se resuelve con la regla del paralelogramo. Dibujándolo, el cuerpo **M** no pasa a **3**, sino a **3`**.

Si no actuaran más fuerzas, en los instantes en que el movimiento original corresponde a **4**, **5**, etc, pasaría por **4'**, **5'**, etc, en movimiento rectilínea uniforme.
Pero cuando llega a **4'** de nuevo aparece un impulso instantáneo en dirección a **S** (de valor cualquiera, sin relación con el anterior). Y de nuevo la regla del paralelogramo indica que cambiará el rumbo para pasar en el tiempo pautado no a **5'** sino a **5"**.
Y así sucesivamente, mientras actúe una fuerza en la dirección de **S**.

45'

La pregunta que se hace Newton es qué peculiaridad tiene esa trayectoria, recordemos, la de un cuerpo en movimiento que sufre la acción de una fuerza que, como toda condición, apunta a un punto.
Lo primero es que la trayectoria es plana. Todas las construcciones de paralelogramos, se encuentran en el plano que forma la recta original **0-5** con el punto **S**.
Observemos el triángulo **S·0·1**. Su área es la misma que la del **S·1·2**. Ambos tienen la misma base, (**0·1** = **1·2**) y la misma altura, la distancia de **S** a la recta **0·5**.
El triángulo **S·2·3'** tiene la misma área que el **S·2·3** porque ambos tienen la misma base (**S·2**) y la misma altura, (recordemos que **3·3'** es paralela a **S·2**). Y el área de **S·2·3** es igual a la de **S·2·3**
Así que el área de **S·1·2** es igual a la **S·2·3**.
La del **S·3'·4"** es la misma que el de **S·3'·4'**. Y la del **S·3'·4'** es igual a la de **S·2·3'** siempre por lo mismo, por tener un lado igual y la altura sobre ese lado igual. Por lo tanto las de **S·3'·4"** y **S·2·3'** son iguales.
Así que todos, desde **S·0·1** hasta **S·5"'·6""**, tienen la misma área, tanto si actúa la fuerza hacia **S** como si no actúa ninguna fuerza (podría suponerse fuerza nula; no se ha prejuzgado el valor). Si no actúa ninguna fuerza, lo de áreas iguales se cumple respecto de cualquier punto. Si actúan desde un punto, sólo respecto a ese. La regla de igualdad de áreas es la generalización de la de Galileo de igualdad de segmentos.
Por tanto la otra propiedad de la trayectoria del cuerpo es que describe áreas iguales en tiempos iguales respecto al lugar donde apuntan las fuerzas que actúan sobre él.

Parecería una curiosidad, si no fuera porque a partir de los datos que tomó cien años antes, **Tycho Brahe**, (no contó con telescopios), un tal **Kepler** había llegado a la conclusión de que Marte describía una órbita plana con la propiedad de que barría áreas iguales en tiempos iguales respecto al Sol.
La conclusión de Newton fue rotunda "*El Sol está atrayendo a Marte*" Todos los cuerpos (con masa) se atraen entre sí, y es esa fuerza de atracción entre la Tierra y un objeto es la que produce la caída de los cuerpos. Esa fuerza el el peso. El crecimiento de velocidad al caer, de las 2 unidades que hay que añadir a un impar para obtener el siguiente, pasó a llamarse aceleración de la gravedad, y la fuerza que la produce, el peso, acción de la gravedad, o acción gravitatoria (ahora les ha dado por decir gravitacional)

Pásmense. Con sólo las reglas de Galileo, de que un cuerpo se mueve de manera uniforme si no actúan fuerzas, y si las hay, que la composición de movimientos se rige por la ley del paralelogramo, más la de igualdad de área de triángulos, descubre la gravitación universal. Que lo que hace caer una manzana es lo que mantiene a la Luna en su órbita.

Y cuando luego Newton considera además que, según Kepler, la órbita de Marte era una elipse, obtuvo que la fuerza de atracción disminuía con el cuadrado de la distancia. Y así enunció la ley de gravitación universal. Todo a partir de una simple figura.
¿No es definitivamente genial?

Habrán notado que iba a hablar de fuerzas, de física, de estructuras, y no ha habido fórmulas, símbolos, ni álgebra. Más bien todo ha sido geometría. Desde lo de los hologramas hasta lo dela gravitación.
Porque estructuras es casi sólo geometría. Aunque ya verán que para algunos es álgebra (y con desprecio por la geometría).
Y en este curso, no sé si en este semestre, el departamento de matemáticas, les impartirá una asignatura que se llama geometría, y para mí que han secuestrado el nombre. Es, como mucho la codificación algebraíca de una parte, la algebraizable, de la geometría, pero sin dibujos, y sin geometría. No me digan que no les avisé.

Y porque eso, geometría, es de lo que hablamos cuando hablamos de arquitectura.

Gracias

55'